



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STAVEBNÍ**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

**ÚSTAV GEODÉZIE**

INSTITUTE OF GEODESY

**TESTOVÁNÍ PŘESNOSTI STAVEBNÍCH  
LASEROVÝCH PŘÍSTROJŮ**

TESTING OF PRECISION OF CONSTRUCTION LASERS

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Jana Absolonová**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**doc. Ing. RADOVAN MACHOTKA, Ph.D.**

**BRNO 2017**



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

## FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	B3646 Geodézie a kartografie
<b>Typ studijního programu</b>	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3646R003 Geodézie, kartografie a geoinformatika
<b>Pracoviště</b>	Ústav geodézie

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Jana Absolonová
<b>Název</b>	Testování přesnosti stavebních laserových přístrojů
<b>Vedoucí práce</b>	doc. Ing. Radovan Machotka, Ph.D.
<b>Datum zadání</b>	30. 11. 2016
<b>Datum odevzdání</b>	26. 5. 2017

V Brně dne 30. 11. 2016

---

doc. Ing. Radovan Machotka, Ph.D.  
Vedoucí ústavu

---

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Děkan Fakulty stavební VUT

## PODKLADY A LITERATURA

Manuály testovaných přístrojů.

Skripta či učebnice inženýrské geodézie či geodézie pro stavební inženýry,

např.:

Pospíšil J.: Stavební geodézie, ČVUT Praha, 2016

Schenk, J. Geodézie ve stavebnictví, VŠB-TU Ostrava, 2002

Staněk, V., Hostinová, G., Kopáček, A.: Geodézie v stavebnictví. JAGA GROUP, 2007.

## ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Po konzultaci s vedoucím práce otestujte vybrané laserové stavební přístroje (ruční laserové dálkoměry, laserové vodováhy, rotační lasery). Zaměřte se na přesnost a spolehlivost údajů, které poskytují a na jejich praktickou použitelnost při výstavbě či zaměřování stavebních objektů. Porovnejte zjištěné parametry s parametry udávanými výrobcem.

## STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

---

doc. Ing. Radovan Machotka, Ph.D.  
Vedoucí bakalářské práce

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce se zabývá testováním přesnosti vybraných stavebních laserových přístrojů. Nejdříve jsou popsány vlastnosti těchto přístrojů. Poté je vysvětlen postup měření, kterým jsou získány hodnoty pro výpočet středních chyb. Tyto chyby jsou porovnány s maximálními odchylkami předepsanými výrobcí v manuálu. Na závěr je popsána praktická využitelnost vybraných přístrojů vzhledem ke zkušenostem při měření. Veškeré zápisníky, výpočty a grafy jsou umístěny v přílohách této práce.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Testování přesnosti, stavební laserové přístroje, rotační laser, ruční dálkoměr, laserová libela

## **ABSTRACT**

This Bachelor's thesis deals with accuracy testing of chosen building laser tools. At first, features of these devices are described. Then the measurement procedure is explained. By this measurement the values for the calculation of errors are obtained. These errors are compared with the maximum deviations prescribed in the manual by the manufacturer. In conclusion, the practical applicability of selected devices is described in relation to measurement experiences. All measured values, calculations and charts are located in attachments of this thesis.

## **KEYWORDS**

Accuracy testing, building laser tools, rotary laser level, laser distance meter, laser level

## **Bibliografická citace VŠKP**

Jana Absolonová *Testování přesnosti stavebních laserových přístrojů*. Brno, 2017. 42 s., 17 s. příl.  
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí  
práce doc. Ing. Radovan Machotka, Ph.D.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 26. 5. 2017

---

Jana Absolonová  
autor práce

## **Poděkování**

Ráda bych poděkovala hlavně vedoucímu bakalářské práce, doc. Ing. Radovanu Machotkovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky v průběhu měření a zpracování. Také děkuji svým rodičům za psychickou a finanční podporu v průběhu studia.

V Brně dne 26. 5. 2017

---

Jana Absolonová  
autor práce

# **OBSAH**

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>1 TESTOVANÉ MĚŘICKÉ PŘÍSTROJE</b> .....	<b>11</b>
1.1 Rotační lasery.....	11
1.1.1 Nedo PRIMUS <sup>2</sup> H2N .....	11
1.2 Ruční dálkoměry .....	12
1.2.1 Leica Disto™ plus.....	13
1.2.2 STABILA LE 50 .....	13
1.2.3 BOSCH DLE 50.....	14
1.3 Laserové libely .....	14
1.3.1 Laserliner HandyLaser Compact.....	14
<b>2 TESTOVÁNÍ VYBRANÝCH PŘÍSTROJŮ</b> .....	<b>15</b>
2.1 Rotační lasery.....	15
2.1.1 Předmět testování .....	16
2.1.2 Vlastní měření .....	16
2.1.3 Zpracování měřených dat .....	20
2.2 Ruční dálkoměry .....	23
2.2.1 Předmět testování .....	23
2.2.2 Vlastní měření .....	24
2.2.3 Zpracování měřených dat .....	25
2.3 Laserové libely .....	27
2.3.1 Předmět testování .....	27
2.3.2 Vlastní měření .....	28
2.3.3 Zpracování měřených dat .....	28
<b>3 VYHODNOCENÍ TESTOVÁNÍ</b> .....	<b>30</b>
3.1 Rotační lasery.....	30
3.2 Ruční dálkoměry .....	33
3.3 Laserové libely.....	35
<b>4 PRAKTICKÁ POUŽITELNOST</b> .....	<b>37</b>
4.1 Rotační lasery.....	37
4.2 Ruční dálkoměry .....	38
4.3 Laserové libely.....	38
<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>39</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</b> .....	<b>40</b>



<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>41</b>
<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>41</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH: .....</b>	<b>42</b>

## ÚVOD

Cílem této bakalářské práce je seznámit se s vybranými stavebními laserovými přístroji a otestovat jejich přesnosti v porovnání s maximálními odchylkami předepsanými výrobcem a zhodnotit efektivnost jejich využití k běžnému měření.

Testovány jsou vybrané ruční dálkoměry, laserové vodováhy a rotační lasery. Jelikož u ručních dálkoměrů je testována pouze přesnost, se kterou jsou jimi měřeny vzdálenosti, a u laserových libel pouze přesnost vodorovnosti laseru, největší důraz se klade na rotační lasery, které disponují více funkcemi, na kterých závisí měření a které se dají testovat. Jednou z nich je vytyčení vodorovné roviny, dále je to vytyčení skloněné roviny pod určitým úhlem v procentech a také přesnost kolimátoru, který je důležitý pro určení směru skloněné roviny.

Práce je rozdělena tak, že nejdříve autorka teoreticky popisuje vlastnosti a funkce jednotlivých testovaných přístrojů. Tyto informace přebírá z manuálů vydaných výrobcem. Následuje samotné testování, kde je nejprve vysvětleno, co a jakou metodou se bude ověřovat, dále je popsán přesný postup při měření a nakonec způsob a postup zpracování naměřených dat. V další kapitole jsou zobrazeny přehledné výsledky a porovnání chyb s předepsanými maximálními odchylkami a na závěr autorka popsala praktickou využitelnost testovaných přístrojů. Tato kapitola je subjektivní, jde o autorčiny názory a postřehy z měření. V přílohách jsou potom doloženy zápisníky z měření, mezivýpočty, popřípadě grafy. Všechny výpočty a grafy jsou z prostředí počítačového programu Microsoft Office Excel.

# 1 TESTOVANÉ MĚŘICKÉ PŘÍSTROJE

Po dohodě s vedoucím bakalářské práce byly otestovány některé stavební laserové přístroje, které jsou k dispozici ve skladě Ústavu Geodézie na Fakultě stavební VUT v Brně. Z rotačních laserů byl testován Nedo PRIMUS<sup>2</sup> H2N, z ručních dálkoměrů Bosh DLE 40 Professional, Leica TM plus, Stabila LE-50 a laserové libely typu Laserliner HandyLaser Compact. V následující kapitole jsou popsány funkce a použití těchto přístrojů a hodnoty přesností předepsané výrobcí.

## 1.1 Rotační lasery

Rotační lasery jsou přístroje vytvářející rovinu, kterou tvoří rozmítaný svazek laserových paprsků pomocí otáčejícího se hranolu. Lze jimi vytyčit rovina vodorovná, skloněná v jedné ose i rovina skloněná v obou osách, což by s optickými přístroji bylo značně složité. Tyto laserové přístroje se čím dál tím více využívají pro stavební práce už jen z důvodu, že zacházení s nimi nevyžaduje žádné velké dovednosti a měřit s nimi zvládne téměř každý. Na rozdíl od některých optických přístrojů je nutno pouze hrubě horizontovat přístroj a dále se urovná sám. Metoda měření s rotačními lasery vyžaduje pouze jednoho měřiče. [1]

### 1.1.1 Nedo PRIMUS<sup>2</sup> H2N

Nedo PRIMUS<sup>2</sup> H2N je laserový nivelační přístroj, jenž vytváří rovinu pomocí otáčejícího se laseru. Slouží k vytyčení vodorovné nebo skloněné roviny, může jím být měřena plošná nivelace. Velkou předností tohoto přístroje je, že k obsluze vyžaduje pouze jednoho měřiče. Přístroj vytváří rovinu. Laserový paprsek této roviny je zachycen detektorem připevněným na lať a měřič může odečíst hodnotu na stupnici. Výrobce určuje přesnost nivelace lepší než  $\pm 0,05$  mm/m a přesnost funkce sklonu lepší než  $\pm 0,1$  %. [2]

K měření tímto přístrojem potřebujeme kromě krabice se samotným přístrojem, detektorem, brýlemi a manuálem také speciální stativ a lať, na kterou se pomocí šroubku připevní detektor. Ten slouží zároveň i jako dálkový ovladač. Speciální stativ je vybaven svislou tyčí, po které lze přístroj posouvat použitím páčky. Přístroj, lať i detektor obsahují krabicovou libelu. Přístroj rozlišuje osy x a y, jejich směr je naznačen na jeho vrchní části a nastavení směru os zprostředkovává přibližný kolimátor.

Před vlastním měřením je zapotřebí připevnit zařízení na stativ pomocí uzamykatelného disku. Ten se na stativ přišroubuje. Hrubá horizontce se provede podle

krabicové libely na přístroji prodloužením nebo zkrácením noh stativu. Hrubá horizontce by měla být v rozmezí  $\pm 5^\circ$ , aby mohla být provedena automatická jemná horizontce. Poté se spustí otáčení laseru a přístroj je připraven k měření. Rychlost otáčení laseru je 600 otáček za minutu. Je zde na výběr ze dvou módů měření. Je to automatický a manuální mód. V obou lze nastavit úhlový sklon jednotlivých os až do  $\pm 10\%$ . [2]

V automatickém módu se hrubě horizontovaný přístroj dále urovná sám během 30 sekund a během měření urovnání neustále kontroluje. Vlivem špatných vnějších podmínek nebo silných vibrací se může na displeji objevit chybné hlášení. Jsou to kódy C00, C01, C02 nebo C03. Kód C00 znamená, že přístroj není urovnán v rozmezí  $\pm 5^\circ$  a nemůže být provedena jemná horizontce. C01 upozorňuje na vnější vibrace, C02 znamená překročení času automatického urovnání a C03 značí nepovolenou změnu horizontální nebo vertikální pozice. Manuální mód nenabízí detekci vibrací ani automatické urovnání. [2]

Detektor COMMANDER 2 H2N zachytává laserový paprsek vysílaný přístrojem na 70 mm dlouhém poli laserového přijímače. Aby mohla být přečtena správná hodnota na lati, musí se posunout detektor tak, aby byl laser v polovině detekčního pole se zvolenou přesností na  $\pm 0,5/ \pm 1/ \pm 2/ \pm 4$  mm. Dle pozice laseru se na displeji rozsvěcí šipky směřované směrem, kam je potřeba detektor posunout. Kromě funkce detekce přijímač slouží také jako dálkový ovladač přístroje, a tak přístroj může být ovládán jedním člověkem. Maximální dosah dálkového ovládání je 150 m. [2]

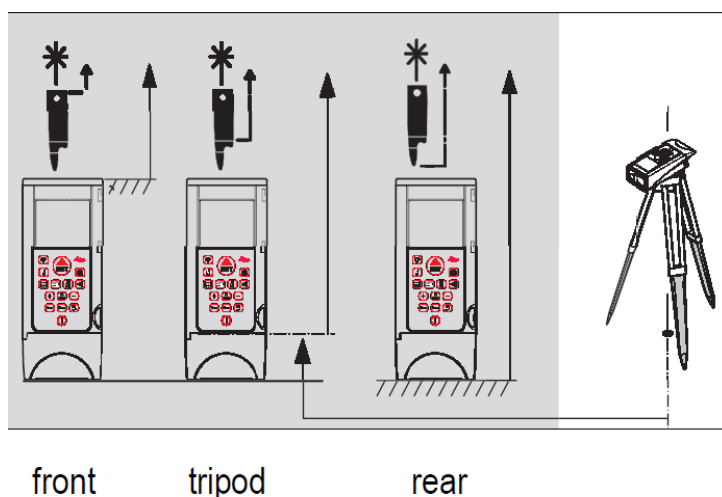
## **1.2 Ruční dálkoměry**

Laserové dálkoměry se začaly vyrábět na začátku devadesátých let dvacátého století a tehdy měly nahradit metody mechanického měření délek. Daly se ale použít pouze pro měření v interiéru. Tyto přístroje byly mnohem větší a těžší než ty, na které jsme zvyklí v současnosti. Měření s nimi bylo proto složitější a pomalejší. V průběhu let byl zaznamenán obrovský pokrok mimo jiné i ve vývoji laserových přístrojů. Dnešní laserové dálkoměry jsou lehké, malé a měření s nimi je jednoduché a rychlé, lze je použít i v exteriéru. Navíc měří řádově na milimetry a jejich udávaná přesnost je vysoká, většinou kolem 1,5 mm. Kromě měření délek mohou být využity i početní funkce, jako je například výpočet výměry, objemu, výpočet Pythagorovy věty. Tato zařízení mají možnost ukládat určité množství naměřených dat do paměti. Některé přístroje jsou vybaveny i technologií

Bluetooth, a tak je možné přenášet naměřené hodnoty do mobilních zařízení nebo počítače. [3]

### 1.2.1 Leica Disto<sup>TM</sup> plus

U tohoto dálkoměru je možné vybrat si ze tří možností vztažné roviny pro měření délek. Je to rovina daná začátkem přístroje, koncem přístroje a rovina určená pro měření na stativu. Lze s ním počítat také obsahy, objemy, vzdálenosti na základě Pythagorovy věty. Rozsah měření je (0,2 – 200) m. Chyba měření stanovena výrobcem je  $\pm 1,5$  mm až  $\pm 3$  mm. Při měření vzdálenosti do 30 m může být chyba  $\pm 0,1$  mm/m při příznivých podmínkách a při špatných vnějších podmínkách se může zvednout až na  $\pm 10$  mm. Nejmenší zobrazovaná jednotka je 1 mm. Jednotky můžeme přepnout na cm, palce, stopy. V paměti může být uloženo až 15 naměřených hodnot. [4]



Obrázek 1: Přehled možností volby počátku měření přístrojem Leica Disto<sup>TM</sup> plus [4]

### 1.2.2 STABILA LE 50

U tohoto dálkoměru je na výběr ze dvou možností vztažných rovin měření vzdáleností. Buď je to rovina určena přední částí přístroje anebo zadní částí. Disponuje běžnými funkcemi, jako je sčítání, odčítání, výpočet obsahu, objemu. Rozsah měření je (0,05 – 100) m. Přesnost měření délky do 30 m udávaná výrobcem je  $\pm 3$  mm. U vzdáleností nad 30 m při špatných podmínkách při měření chyba může dosahovat až 10 mm na měřenou délku. Nejmenší zobrazovaná jednotka je 1 mm. Jednotky je však možné měnit. Toto zařízení dokáže do paměti uložit až 19 hodnot. [5]

### **1.2.3 BOSCH DLE 50**

Při zapnutí dálkoměru je automaticky vybrána zadní stěna přístroje jako vztažná rovina pro měření. Tuto rovinu je možno změnit na přední stěnu přístroje jediným tlačítkem. Z naměřených hodnot může být opět vypočten obsah nebo objem, k poslední hodnotě mohou být přičítány nebo odečítány další naměřené délky. Může být spuštěno i tzv. trvalé měření, což znamená, že laser je trvale zapnut a vždy po 0,5 s je aktualizována hodnota vzdálenosti. Rozsah měření je udáván jako (0,05 – 40) m. Stanovená přesnost měření vzdálenosti je  $\pm 1,5$  mm. Při příznivých podmínkách může být hodnota odchylky 0,05 mm/m, při špatných podmínkách, jako je například silné sluneční záření, může být chyba až  $\pm 10$  mm na 40 m. Nejmenší zobrazovaná jednotka je 1 mm. [6]

## **1.3 Laserové libely**

Laserové vodováhy neboli laserové libely jsou přístroje, které slouží k „ukázání“ vodorovné přímky při stavebních pracích. Vodorovnost se zajistí ručně urovnáním libely pomocí šroubů. [7]

### **1.3.1 Laserliner HandyLaser Compact**

Tato laserová vodováha patří spíše k těm levnějším. S patřičným příslušenstvím ji lze použít i na stativu s otočným podstavcem. Toto vybavení ale ve škole není k dispozici. Do vodorovné polohy se urovnává seřiditelnými nožkami. Rozsah jejího použití je 50 m a přesnost je udávána jako 0,5 mm/m. [8]

## 2 TESTOVÁNÍ VYBRANÝCH PŘÍSTROJŮ

Testování přístrojů probíhalo dvěma způsoby. Pokud byla nalezena metoda přesnější, než je měření s testovaným přístrojem, tato přesnější metoda určovala skutečné hodnoty  $X$ . Z takového souboru měření byly počítány skutečné chyby  $\varepsilon_i$  rozdílem skutečné hodnoty a měřené hodnoty  $l_i$ .

$$\varepsilon_i = X - l_i; (i = 1, 2, \dots, n) [9]$$

Dále byla vypočtena střední výběrová chyba:

$$m^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i \varepsilon_i}{n}. [9]$$

Jestliže skutečná hodnota nebyla známa, byl z naměřených dat spočítán aritmetický průměr, který byl považován za nejpravděpodobnější hodnotu  $\bar{x}$ . Rozdíly aritmetického průměru a jednotlivých měřených dat  $l_i$  se nazývají opravy a značí se  $v_i$ .

$$v_i = \bar{x} - l_i; (i = 1, 2, \dots, n) [9]$$

Střední výběrová chyba byla potom vypočtena vzorcem:

$$m^2 = \frac{\sum_{i=1}^n v_i v_i}{n-1}. [9]$$

### 2.1 Rotační lasery

Rotační laser je přístroj, který je používán hlavně dělníky na stavbách, pro geodetické účely se nepoužívá. Proto byl autorkou používán prvně až kvůli této bakalářské práci. Aby mohl být testován, musela se s ním autorka nejdříve naučit pracovat. K tomu měl pomoci manuál, který byl ale k dispozici pouze v anglickém jazyce, takže musel být nejprve přeložen. Zacházení s rotačním laserem naštěstí není moc složité, přesto zpočátku byly nepozorností způsobeny chyby v nastavení, díky kterým musely být hodnoty z celého dne vyhozeny, a vše muselo být měřeno znovu. Z chyby se autorka ale poučila a další měření už probíhalo téměř bez potíží.

Pro účely výuky byly na naši školu pořízeny tři rotační lasery stejné značky, a tou je Nedo PRIMUS<sup>2</sup> H2N spolu s příslušnými detektory Commander<sup>2</sup> H2N. Testovány byly všechny tři. Tyto přístroje jsou označeny písmeny 3C, 4B a 5A a výrobními čísly. Přístroji 5A přísluší výrobní číslo P2-07071 a detektoru C2-06229. Zařízení 3C má výrobní číslo

P2-07077 a přijímač C2-06241. Přístroj 4B je označen číslem P2-07073 a C2-06235 detektor. V této práci byla pro lepší přehlednost použita prvně zmíněná označení.

### **2.1.1 Předmět testování**

Rotační lasery slouží k vytyčení vodorovné nebo skloněné roviny. Proto byla testována přesnost nivelace a přesnost nastavení sklonu. Přístroje jsou na stavbách většinou používány na krátké vzdálenosti, ale aby byla u výsledků testování sklonu značně viditelná převýšení u různých sklonů, přístroje byly testovány na větší vzdálenost. Všechna měření s rotačními lasery byla provedena v areálu Fakulty stavební Vysokého učení technického v Brně.

Jako první bylo nutné ověřit přesnost funkce nivelace neboli funkce samo urovnání přístroje. Využita pro to byla síť nivelačních značek v areálu FAST VUT v Brně. Výšky byly zjištěny velmi přesnou nivelací, a tak byly věrným podkladem pro testování.

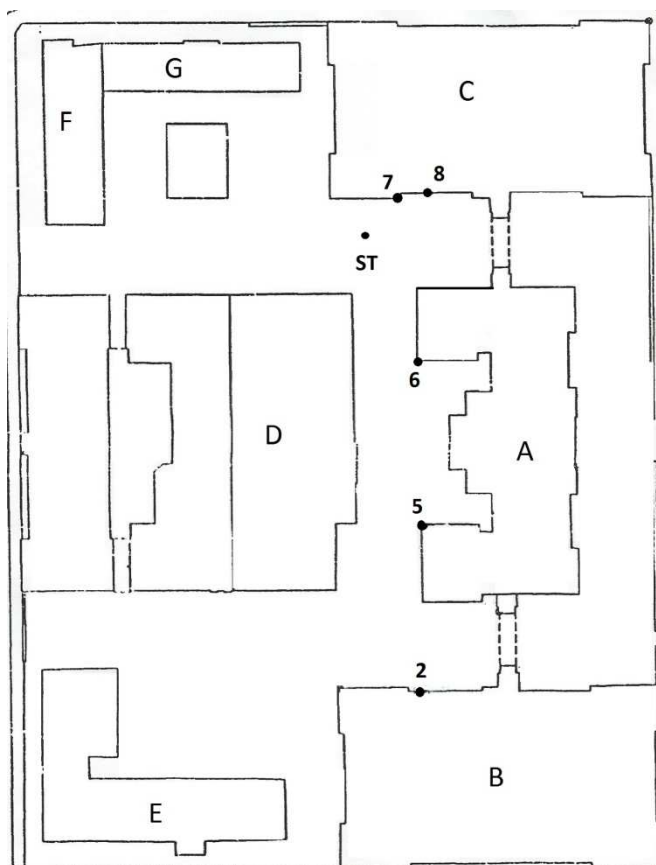
Dále bylo nutno ověřit přesnost nastavení sklonu. Ta byla testována jak u osy X, tak u osy Y přístroje. Pro nastavení směru jedné z os na určité místo používáme kolimátor, který ale nemusí být přesný. Přesnost zacílení pomocí kolimátoru byla zjištěna na jednom ze tří přístrojů.

### **2.1.2 Vlastní měření**

Měřeno bylo v průběhu února a března roku 2017. Využito bylo nivelačních bodů v areálu Fakulty stavební. Jako podklad posloužila přehledka nivelačních bodů a seznam výšek zjištěných velmi přesnou nivelací.

Pro **testování přesnosti nivelace** přístroje bylo třeba najít vhodné místo pro stanoviště, ze kterého by bylo viditelné co nejvíce známých nivelačních značek a zároveň aby bylo co nejvzdálenější od jednotlivých bodů. V některých místech ve výhledu překážel plot, někde nebylo možné postavit stroj, protože by překážel projíždějícím vozidlům nebo zaparkovaným autům. Jako nejvhodnější poloha stanoviště se jevila u budovy C na ostrůvku se zelení. Použity odsud byly body číslo 2, 5, 6, 7, 8.



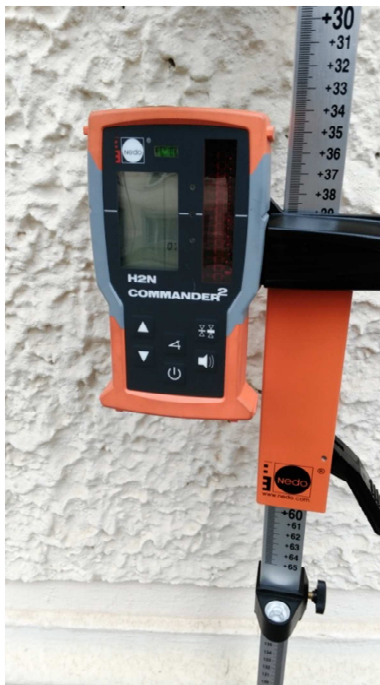


*Obrázek 2: Přehled použitých nivelačních bodů v areálu*

Aby mohla být následně vypočtena závislost chyby na vzdálenosti od přístroje, bylo nutno změřit vzdálenosti stanoviště k jednotlivým nivelačním značkám. K tomu byla použita totální stanice Topcon GPT-3003N, v. č. 4D0516. Měřeno bylo na hranol s konstantou hranolu -30 mm. Poloha totální stanice byla označena dočasně kolíkem. Na toto místo byly postaveny průběžně všechny rotační lasery. Centrace byla pouze přibližná, což pro daný účel postačovalo. Tyto přístroje nedisponují přesnějším centračním zařízením ani se zde nedá použít olovnice. Pouze při stavění speciálního stativu pomocí trubky, sloužící k vertikálnímu posunu přístroje, je možné přibližně centrovat.

Na stativ byl připevněn přístroj a byl nastaven automatický mód měření. Sklon obou os byl nulový. Přístroj byl automaticky zhorizontován a začal rozmítat laserový paprsek. Byly přečteny hodnoty na lati na jednotlivých nivelačních značkách. U tohoto přístroje je nutné dávat si pozor na čtení na lati. Hodnoty jsou totiž uspořádány sestupně směrem nahoru po lati, a tak se párkrát stalo, že byla přečtena hodnota centimetrů

a milimetrů ne shora dolů, ale zdola nahoru (například místo 55,6 cm bylo přečteno 56,4 cm). Jedná se o hrubé chyby, které by se ze souboru měření nedaly vyloučit.



*Obrázek 3: Lat' s detektorem*

*- Zápisky naměřených dat najdeme v příloze č. 1.*

K **testování přesnosti nastavení sklonu** jednotlivých os bylo použito stanovisko na totožném místě, ale jelikož bylo měření provedeno jiný den, nezachoval se zde kolík a bylo nutno opět změřit vodorovnou vzdálenost, tentokrát jen na bod č. 2 totální stanicí. Byl použit bezhranový režim. Opět byl nad stanovisko přibližně zcentrován rotační laser. Přístroj byl postaven do výšky o něco nižší, než je výška postavy. Bylo totiž počítáno s tím, že budou použity sklony jak kladné, tak i záporné a bylo potřeba, aby použité záporné sklony nebyly moc nízko a bylo jich možné zaznamenat na části lati, po které se může pohybovat detektor, ale také, aby hodnoty kladných sklonů nebyly příliš vysoko a bylo jich na lati měřičem dosaženo. Bod č. 2 byl vybrán kvůli využití co největší vzdálenosti, která byla 100,0 m. Větší vzdálenost měla zaručit kvalitnější výsledky rozdílů výšek při použití různých sklonů. Nejprve byl nastaven sklon 0 %. Výška latě byla nastavena tak, aby byl k dispozici přibližně stejný úsek směrem nahoru a dolů od hodnoty, která značí nulový sklon rozmetače. Následně byl šroubek latě důkladně utažen, aby nedošlo k posunutí lati při pokládání na zem nebo na značku.

Nejdříve byl otočen směr osy X na zájmovou nivelační značku. Po veškerém nastavení bylo možno další měření ovládat díky dálkovému ovládání z místa u nivelační značky č. 2, na které bylo vše testováno. Byly nastavovány různé sklony osy X v rozmezí  $-0,3\%$  až  $+0,3\%$  a zapisovány jejich výškové hodnoty na latí. Sklon osy Y byl nulový. Protože v průběhu měření bylo zjištěno, že po několikátém urovnání totožného sklonu vychází různé výsledky, bylo zapisováno pět hodnot nezávislého urovnání přístroje. Poté byl na nivelační bod nastaven směr osy Y a postup opakován se změnami sklonu osy Y při nulovém sklonu osy X. Totéž se opakovalo i u zbylých dvou přístrojů.



*Obrázek 4: Označení směru os na přístroji*

- Zázpisníky naměřených dat najdeme v příloze č. 2.

Aby bylo zjištěno, jak přesné je **cílení pomocí kolimátoru přístroje**, bylo zacíleno osou X na bod č. 2 a byl měněn sklon osy Y v rozmezí -10 % až +10 %. Hodnoty na lati by při přesném zacílení měly být totožné s nulovým sklonem obou os.



*Obrázek 5: Kolimátor rotačního laseru*

- *Zápisník naměřených dat najdeme v příloze č. 3.*

### **2.1.3 Zpracování měřených dat**

Nejprve byla testována **nivelační funkce** přístroje. Byly změřeny vodorovné vzdálenosti nivelačních značek od přístroje totální stanicí a hodnoty převýšení mezi jednotlivými nivelačními značkami byly měřeny rotačními lasery. Tato převýšení jsou ale opačná než u technické nivelace, zde jsou převýšení měřena od horního konce lati k rovině vytyčené rotačním laserem. Aby byla vypočtena výška vytyčované roviny u technické nivelace, stačilo by přičíst k výšce nivelačního bodu převýšení na lati. Zde je nutno hodnotu přečtenou na lati odečíst od výšky bodu a dostaneme se na rovinu rovnoběžnou s vytyčovanou rovinou. Vzdálenost mezi nimi je vyjádřena součtem hodnoty čtení na lati a délky lati od spodního konce k milimetrové rysce této hodnoty. V tomto případě ale není důležitá skutečná vytyčovaná rovina, k výpočtu chyb postačí rovina spočtená rozdílem výšky bodu a čtení na lati.

Výška této roviny byla spočtena pro každý bod zvlášť. Každý bod byl různě vzdálený od stanoviště. A protože je chyba přístroje v manuálu vyjádřena v lineární závislosti na vzdálenosti, nemůže být vypočítán běžný aritmetický průměr, ale musí se zavést váhy. Jsou to hodnoty, které leží v intervalu (0;1) a jejich součet je roven jedné. Čím je větší vzdálenost, tím má být chyba přístroje větší, tím pádem musí být menší váha

vypočtené roviny pro určitý bod. Suma násobků vah a vypočtených výšek roviny vyjádří nejpravděpodobnější výšku. Dále už je možné spočítat opravy a přepočítat je na jednotky [mm/m].

Následující vzorce vyjadřují, jak byly vypočteny váhy  $p$  pro určité body. Písmeno  $i$  vyjadřuje čísla bodů. Tedy  $s_2$  značí vzdálenost bodu 2 od stanoviska a váha  $p_2$  vyjadřuje váhu bodu 2.

$$p_i = \frac{\frac{1}{s_i}}{\sum_{i \in \{2; 5; 6; 7; 8\}} \frac{1}{s_i}} ; \quad \sum_{i \in \{2; 5; 6; 7; 8\}} p_i = 1$$

Označíme-li  $h_i$  výšku roviny počítanou pro každý bod zvlášť a  $h_0$  pravděpodobnou výšku roviny, pak:

$$h_0 = \sum_{i \in \{2; 5; 6; 7; 8\}} p_i \cdot h_i.$$

Opravy byly vypočteny jako:

$$v_i = h_0 - h_i.$$

Dále byly opravy vyděleny patřičnou vzdáleností a byla vypočtena střední empirická chyba v mm/m. Tyto opravy byly vypočteny jako  $v'_i$ .

$$m^2 = \frac{\sum_{i \in \{2; 5; 6; 7; 8\}} v'_i v'_i}{n-1} [9]$$

- Výpočty vah, oprav a středních chyb najdeme v příloze č. 6.

- Výsledky najdeme v kapitole 3.2.

Dále byly provedeny **testy sklonu**. Pro každý testovaný přístroj byly počítány chyby zvlášť pro případ, kdy byla na bod č. 2 nasměrována osa X přístroje a byly měněny hodnoty jejího sklonu a zvlášť pro situaci, kdy byla na tento bod natočena osa Y a byly měněny hodnoty náklonu této osy. Pro každý sklon bylo tedy pokaždé změřeno pět hodnot. Cílem je vypočítat střední chyby urovnání jednotlivých sklonů a ověřit, zda není chyba urovnání sklonu závislá na jeho velikosti. Dále spočítat celkovou střední chybu urovnání sklonu pro každý přístroj a pro každou jeho osu. A v poslední řadě ověřit, zda sklony v procentech odpovídají správnému převýšení a spočítat střední chybu nastavení sklonu.

Pro každý sklon byl vypočten aritmetický průměr  $\bar{x}$  hodnot čtení a následně opravy  $v$  od tohoto průměru.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad [9] \quad v_i = \bar{x} - x_i \quad [9]$$

Pro každý sklon byla poté vypočtena střední výběrová chyba:

$$m^2 = \frac{\sum_{i=1}^n v_i v_i}{n-1} \quad [9]$$

Dle výsledných hodnot nebyla zjištěna žádná závislost chyby na velikosti nastaveného sklonu. Byly tedy dále vypočteny celkové střední výběrové chyby ze všech vypočtených oprav.

- *Výsledky výpočtů najdeme v příloze č. 7.*

Sklon se v přístroji nastavuje v procentech. Pro přepočet sklonu na převýšení se tedy použije následující vzorec.  $H$  označuje převýšení,  $L$  vodorovnou vzdálenost.

$$S[\%] = \frac{H}{L} \cdot 100 \quad [10]$$

Byly vypočteny správné sklony, které se odvíjely od průměrné hodnoty nulového sklonu, protože nivelační schopnost rotačního laseru je dle manuálu výrazně přesnější než přesnost nastavení sklonu. Z těchto čísel byly vypočteny skutečné chyby rozdílem průměrných čtení od správných čtení a z těchto rozdílů byly vypočteny střední chyby nastavení sklonu vzorci pro počítání se skutečnými chybami. Pro porovnání průměrných a správných hodnot byly vytvořeny grafy. Zajímavá je podobnost těchto grafů u všech přístrojů. Křivky průměrných čtení na lati mají přibližně stejný tvar pro všechny přístroje, viz příloha č. 11.

- *Výsledky výpočtů najdeme v příloze č. 8.*

Jako poslední byla ověřena **přesnost cílení kolimátorem**. Pomocí kolimátoru bylo co nejpresněji zacíleno na nivelační bod č. 2 osou X. Nastavení sklonu osy X bylo 0 %. Pouze se měnilo nastavení osy Y, a to v rozmezí -10 % až +10 %. Kdyby bylo zacíleno osou přesně na lať, byla by čtena stále stejná hodnota. Čtení se ale výrazně měnilo. Bylo to způsobeno tím, že kolimátor není vybaven takovým optickým zařízením, které by zajišťovalo přesné nasměrování. Na bodě č. 2 se tedy sklon měnil v závislosti na změně sklonu osy Y. Z hodnot čtení byl vytvořen graf, viz kapitola 3.1.

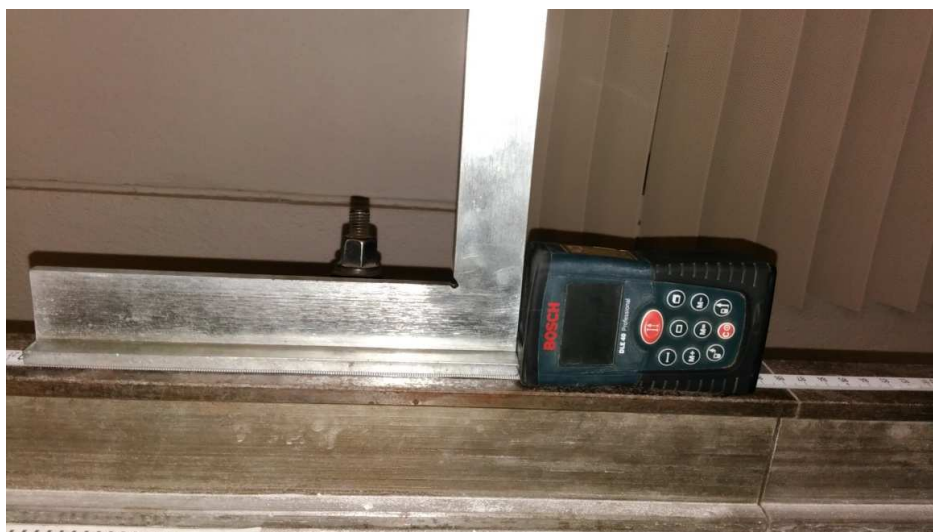
## **2.2 Ruční dálkoměry**

Z velkého množství ručních dálkoměrů, které vlastní Ústav geodézie VUT v Brně, byly pro testování vybrány tři typy, a to Leica Disto<sup>TM</sup> plus, STABILA LE 50 a BOSCH DLE 50. První dvě značky byly zastoupeny každá jedním dálkoměrem a BOSCH DLE 50 zde měl čtyři zástupce. Testované přístroje byly tedy: Leica Disto<sup>TM</sup> plus IC: 3177ACPD0401, STABILA LE 50 s. no.: 2072072120, BOSCH DLE 40 Professional, v. č. 407552382, 407555920, 407552372 a 407552395. K testování bylo použito kalibrované ocelové pásmo BMI MP-89-09, kalibrováno při teplotě 20°C.

### **2.2.1 Předmět testování**

Některé ruční dálkoměry nabízejí i další funkce, jako je například snímání náklonu, ale velká většina funkcí je závislá právě na měření délek. Jsou to například měření obvodu a obsahu místnosti, měření úhlu rohu, a tak dále. Tyto hodnoty jsou vypočítány ze změřených vzdáleností. Proto pro tuto bakalářskou práci byla testována pouze přesnost měření délek.

Přesnost těchto ručních dálkoměrů předepsaná výrobcem je okolo 1,5 mm. Nejenom že by se špatně sháněly přístroje přesnější, použitelné pro kontrolu, ale také by bylo obtížné s nimi sjednotit počátek měření a zamezit chybám, které by vznikly měřením vzdálenosti v rozdílném sklonu. Nejspolehlivější se tedy jevila metoda měření s pomocí kalibrovaného pásma. Aby měřené hodnoty nebyly nepříznivě ovlivněny vnějšími podmínkami, jako je například sluneční záření, testy byly provedeny v učebně č. B150 při teplotě přibližně 20°C, což je i teplota, při níž bylo kalibrováno použité pásmo. Délky byly měřeny vždy od přední hrany ručního laseru, viz obr. 6.



*Obrázek 6: Měření od pevného počátku*

### **2.2.2 Vlastní měření**

Měření probíhalo v učebně č. 150 budovy B Fakulty stavební VUT v Brně dne 5. 4. 2017. Bylo potřeba najít místo, na které by se dala položit a připevnit určitá délka pásma a hodnoty na pásmu by nám značily skutečné hodnoty při měření dálkoměry. Také bylo třeba zajistit pevné počátky a konce měření. Nakonec jako ideální místo pro měření byla zvolena kolejnice v již zmiňované učebně.

Kolejnice byla nejprve očištěna suchým hadrem a poté na ní bylo položeno pásmo. Bylo nataženo tak, aby se v žádném místě neodchlipovalo od kolejnice a takto natažené pásmo bylo připevněno magnety na obou stranách. Počátek a konec měření délky byly realizovány kovovými úhelníky. Ty umožňovaly přesné nastavení na rysku pásma. Počáteční úhelník byl připevněn ke kolejnici truhlářskou svěrkou v hodnotě jednoho metru. Cílová značka sloužila jako odrazná plocha a značila tedy konec měřené délky. Magnet na konci byl připevněn v délce pásma přibližně 16,5 m. K dispozici tedy k testování byla délka 15 metrů.

Byla změřena teplota vzduchu i teplota stuhu pásma na třech místech jeho délky na začátku a na konci měření. Teploty poté byly zprůměrovány. Počáteční značka byla pevná, pohybovalo se tedy pouze s cílovou značkou. Bylo provedeno měření celkem 8 délek po dvou metrech. Začalo se na jednom metru a končilo na patnácti. Každá vzdálenost byla měřena se všemi dálkoměry v jedné poloze cílové značky. Postup měření byl takový, že cílová značka byla umístěna co nejpřesněji na stupnici pásma na rysku



měřené vzdálenosti. Poté byla délka měřena s každým testovaným přístrojem čtyřikrát. Poté byla cílová značka přenesena o dva metry dál a postup se opakoval. Zápisník naměřených hodnot se nachází v příloze č. 4.



*Obrázek 7: Cílová značka*

### 2.2.3 Zpracování měřených dat

Nejdříve byly vypočteny korekce jednotlivých délek pásma a tak zjištěny skutečné hodnoty délek. Jelikož pásmo bylo položeno na kolejnici, byla zanedbána oprava z průvěsu, ze sklonu a z vybočení. Vypočtena byla oprava z teplotního rozdílu  $c_1$  a z rozdílu napětí  $c_2$  dle vzorců:

$$c_1 = \alpha(t - t_K)s_i \quad [11]$$

$$c_2 = \frac{s_i(F - F_K)}{Eq} \quad [11]$$

Opravy z nesprávné délky byly převzaty z kalibračního listu. Nejdříve byly vypočteny korekce pro největší délku  $s_i$ , pro 15 m. S dosazením teplotní roztažnosti  $\alpha = 1 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  [11], teploty při měření  $t = 21,6 \text{ } ^\circ\text{C}$  a teploty při kalibraci  $t = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$  byla vypočtena korekce  $c_1 = 0,24 \text{ mm}$ . Z druhého vzorce byla zjištěna hodnota příčného průřezu pásma násobkem tloušťky a šířky stuhy pásma. Tyto rozměry byly měřeny posuvným měřítkem. Bylo zjištěno, že  $q = 3,25 \text{ mm}^2$ . Za modul pružnosti  $E$  byla

dosazena hodnota  $E = 2 \cdot 10^5 Nm^{-2}$  [12]. Napínací síla při měření nebyla uvažována, protože pásmo bylo pouze položeno a upevněno tak, aby přilínalo k povrchu kolejnice. Proto bylo počítáno pouze s napínací silou při kalibraci  $F_K = 50 N$ . Druhá korekce byla vypočtena  $c_2 = -1,15 \text{ mm}$ . Třetí korekce, což je oprava z nesprávné délky pásma, byla převzata z kalibračního listu. Její hodnota pro délku 15 m je  $c_3 = 0,60 \text{ mm}$ . Oprava délky pásma na 15 m by tedy byla

$$c = c_1 + c_2 + c_3 = (0,24 - 1,15 + 0,60)mm = -0,31 \text{ mm}.$$

Stejným způsobem byly následně vypočteny korekce pro všechny měřené délky.

*Tabulka 1: Korekce pro všechny měřené délky*

[mm]	1 m	3 m	5 m	7 m	9 m	11 m	13 m	15 m
$c_1$	0,02	0,05	0,08	0,11	0,14	0,18	0,21	0,24
$c_2$	-0,08	-0,23	-0,38	-0,54	-0,69	-0,85	-1,00	-1,15
$c_3$	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6
<b>c</b>	<b>-0,06</b>	<b>-0,08</b>	<b>-0,10</b>	<b>-0,13</b>	<b>-0,15</b>	<b>-0,17</b>	<b>-0,29</b>	<b>-0,31</b>

Největší hodnoty opravy dosahuje korekce pro délku 15 m, je to korekce -0,31 mm. Nejmenší zobrazovaná jednotka testovaných ručních dálkoměrů je 1 mm a udávané přesnosti laserových dálkoměrů nejsou menší než 1,5 mm. Obě hodnoty jsou větší než absolutní hodnota nejvyšší korekce. Korekce délek byly tedy zanedbatelné a nebylo třeba jich uvažovat. Za skutečné hodnoty proto byly považovány délky v celých metrech.

Skutečné chyby měření ručními dálkoměry byly počítány jako rozdíl skutečné hodnoty a naměřených hodnot ručním dálkoměrem. Protože výrobci testovaných dálkoměrů udávají přesnost v milimetrech, ale maximální přesnost při příznivých podmínkách v milimetrech na metr, bylo potřeba získat střední chyby v jednotkách [mm] nezávisle na měřenou délku  $i$  [mm/m]. Nejdříve byly vypočteny skutečné chyby pouze rozdílem skutečné hodnoty a naměřené hodnoty. Z těchto chyb byly vypočteny celkové střední výběrové chyby v milimetrech pro každý testovaný dálkoměr. Také byly vypočteny střední výběrové chyby všech testovaných dálkoměrů zvlášť pro každou měřenou délku. Dále bylo třeba vypočítat skutečné hodnoty podělené měřeným úsekem. Tak byly zjištěny

skutečné chyby v závislosti na měřené délce. Z těchto chyb  $\varepsilon_i$  už byly vypočteny střední výběrové chyby v [mm/m] pro každý testovaný dálkoměr zvlášť dle vzorce:

$$m^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i \varepsilon_i}{n}. [9]$$

- *Tabulky se všemi skutečnými chybami jsou v příloze č. 9.*
- *Výsledné střední výběrové chyby jsou vypočteny v kapitole 3.2.*

## **2.3 Laserové libely**

Laserové libely Laserliner HandyLaser Compact byly pro školu koupeny před lety, ale dosud ještě nebyly využity. Máme tu tři laserové vodováhy stejného typu. Otestovány byly všechny tři. Jsou to přístroje s výrobními čísly: 1425000216, 1425002746 a 1420000177.

### **2.3.1 Předmět testování**

Předmětem testování bylo zjistit, zda přesnost těchto strojů odpovídá předepsané přesnosti, což je 0,5 mm/m [8]. Předepsaný rozsah použití je 50 m [8]. Použité vodováhy jsou malé a vyrobeny z lehkého materiálu. Při použití v exteriéru by hrozilo, že vítr nepříznivě ovlivní jejich předchozí horizontální urovnání. Pro získání co nejvěrnějších výsledků bylo tedy měřeno v interiéru, na chodbě budovy B Fakulty stavební.

Laser by měl být připevněn a seřízen v přístroji v souladu se dvěma libelami. Na trubicové libele sloužící pro horizontaci se ale nedá přesně odhadnout střed skleněné trubičky. To by mohlo znamenat největší vliv na přesnost měření. Testujeme tedy, zda vysílaný laserový paprsek má vodorovnou polohu v dovolených odchylkách po urovnání do horizontální polohy podle libely.

### 2.3.2 Vlastní měření

Měření proběhlo dne 7. 4. 2017 na chodbě budovy Ústavu geodézie VUT v Brně. V tomto případě bylo důležité, zda má vysílaný laserový paprsek po urovnání zařízení vodorovnou polohu. To bylo zjištěno změřením převýšení mezi dvěma libovolnými body zpředu laserovou libelou a porovnáním s výsledky technické nivelace ze středu. Výsledky technické nivelace byly považovány za bezchybné.



*Obrázek 8: Testovaná laserová vodováha*

Testované zařízení bylo položeno na podložku ve výšce cca 43 cm. Do blízké vzdálenosti od zařízení byl umístěn první bod (dále jen „bod A“). Aby byla využita co největší délka chodby, druhý bod (dále jen „bod B“) byl zvolen co nejdále. Body byly pomocí laseru posunuty přibližně do přímky s vodováhou a dočasně stabilizovány nivelačními podložkami. Hodnoty výšek byly odečítány na centimetrové nivelační lati. V důsledku divergence laserového paprsku vznikl na vzdálenější lati přibližně dvou centimetrový obraz svazku paprsků. Byly odečítány hodnoty středu tohoto kruhu. Aby byly získány nezávislé hodnoty, každý testovaný přístroj byl urovnán třikrát. Výsledné hodnoty byly zapsány do tabulek, viz příloha č. 5. Takto bylo zaměřeno převýšení mezi dvěma body. Bezchybné převýšení bylo změřeno technickou nivelací přístrojem Sokkia C41, v. č. 031407. Stativ s nivelačním přístrojem byl umístěn do středu mezi stabilizované body a na lati byly odečteny výšky. Bylo zjištěno, že výška „bodu B“ je o jeden centimetr větší než výška „bodu A“. Nakonec byly změřeny vzdálenosti bodů od přístroje ručním dálkoměrem.

### 2.3.3 Zpracování měřených dat

Testovány měly být tři přístroje, ale výšky byly změřeny jen dvěma. U třetího (v. č. 1420000177) byla zjištěna vada seřízení laseru s libelou a byl odevzdán na servis. Při

uovnané libele ve výšce 43 cm „spadl“ laserový paprsek do země po 14 metrech. U zbylých dvou byly vypočteny odchylky od bezchybného převýšení změřeného technickou nivelací.

Z tabulky v příloze č. 10 je patrné, že nejdříve byl vypočten rozdíl čtení na lati „bodu A“ a „bodu B“ změřený laserovou vodováhou. Jako „(A-B)<sub>0</sub>“ je označeno převýšení zjištěné technickou nivelací. Písmeno  $\varepsilon$  značí odchylky převýšení zjištěných laserovou vodováhou a převýšení zjištěných technickou nivelací. Jedná se tedy o skutečné chyby. Tedy:  $\varepsilon = (A - B)_0 - (A - B)$ .

Střední výběrové chyby byly vypočteny dle vzorce:

$$m^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i \varepsilon_i}{n}. [9]$$

### 3 VYHODNOCENÍ TESTOVÁNÍ

#### 3.1 Rotační lasery

U rotačních laserů byly počítány střední chyby nivelace, urovnání sklonu a nastavení sklonu pro každý přístroj zvlášť a urovnání a nastavení sklonu také zvlášť pro osu X a osu Y. Výsledky byly uspořádány do přehledných tabulek.

U **nivelace** byla dodržena maximální předepsaná odchylka pouze přístrojem s označením 4B. Nejhorší výsledky vyšly u přístroje 3C. Tam byla odchylka překročena několikrát. V tabulce v příloze č. 6 vidíme, že takto vysoká střední chyba byla ve výpočtu způsobena opravou na bodě č. 7 o hodnotě -0,47 mm. Vyloučíme-li tuto měřenou hodnotu, dostaneme průměrnou výšku roviny 250,747 m, což je o 7 mm rozdílná výška než u bodu 7. Chyba mohla být způsobena chybným čtením na lati, popisovaným v kapitole 2.1.2.

*Tabulka 2: Výsledky testování nivelace rotačních laserů*

Výsledky testování nivelace rotačních laserů	Dosažená střední výběrová chyba [mm/m]	Předepsaná maximální odchylka [mm/m]
<b>4B</b>	0,045	0,05
<b>5A</b>	0,072	
<b>3C</b>	0,265	

Výpočet střední chyby byl proveden znovu stejným způsobem, avšak bez hodnoty na chybném bodě.

*Tabulka 3: Nový výpočet střední chyby nivelace přístroje 3C*

	Bod	Čtení na lati [cm]	$h_i$ [m]	$p_i$ [m]		$v$ [m]	$v$ [mm/m]	
<b>3C</b>	8	25,9	250,752	0,556	$h_0 = 250,750 \text{ m}$	-0,002	-0,17	$m = 0,120 \text{ mm/m}$
	6	23,7	250,749	0,257		0,000	0,01	
	5	27,6	250,745	0,114		0,004	0,07	
	2	30,3	250,741	0,073		0,009	0,09	

Nově vypočtená střední výběrová chyba je 0,120 mm/m, což je pořád mnohem vyšší hodnota než je maximální předepsaná odchylka. Tato chyba vznikla ale nejvyšší opravou u bodu č. 8. Oprava na 100 m je 2 mm, což je hodnota, která se na lati nedá odhadnout.

Dle manuálu je **přesnost sklonu** 0,1 % [2]. To odpovídá hodnotě 10 cm převýšení na 100 m, což je vzdálenost, ve které byl sklon testován. Chybami urovnání sklonu byly nazvány chyby vypočtené z odchylek od průměrné hodnoty čtení na lati určitých sklonů. Chyby nastavení sklonu byly vypočteny z odchylek od teoreticky správné hodnoty sklonu vůči nulové hodnotě. I když některé skutečné chyby překročily stanovenou maximální odchylku, celkové střední chyby byly vždy menší, a tak měření sklonů s tímto přístrojem vyhovuje maximální předepsané odchylce.

Po porovnání tabulky středních chyb urovnání sklonu a tabulky středních chyb nastavení sklonu bylo zjištěno, že hodnoty středních chyb jsou až deseti násobně větší než střední chyby nastavení sklonu. Tak bylo vyvozeno, že chyby vzniklé při měření se sklonem spočívají ve špatném seřízení přístroje na správný sklon. To je také vidět na grafech v příloze č. 11. Čím více se sklon vzdaloval od nulové hodnoty, tím více se vzdalovaly hodnoty naměřené výšky od správné výšky.

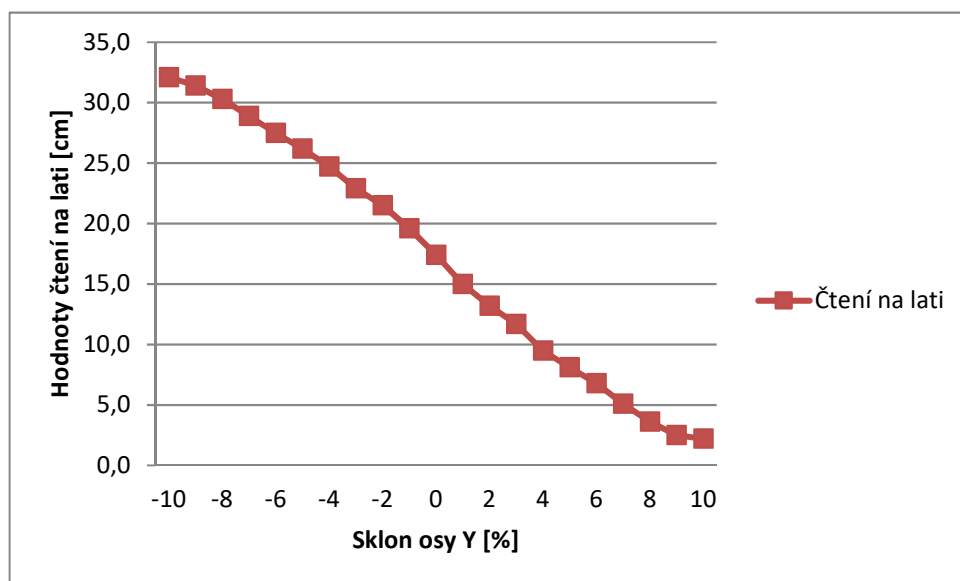
*Tabulka 4: Tabulka středních chyb urovnání sklonu*

Tabulka středních chyb urovnání sklonu [cm/100m]	4B	5A	3C
osa X	0,61	0,82	0,47
osa Y	1,02	0,57	0,79

*Tabulka 5: Tabulka středních chyb nastavení sklonu*

Tabulka středních chyb nastavení sklonu [cm/100m]	4B	5A	3C
osa X	6,69	4,17	5,33
osa Y	4,70	5,66	7,37
dovolená odchylka	10,00		

Testováním přesnosti **cílení kolimátorem** bylo zjištěno, že zacílení kolimátorem tohoto přístroje není přesné.



Graf: Grafický výsledek testu kolimátoru

Sklon nastavený osou X na bod 2 měl být nulový. Hodnoty čtení výšek na lati se ale měnily v závislosti změny sklonu osy Y. Pro představu, s jakou přesností bylo cíleno na bod 2, byl vypočten úhel, který svíral směr na bod 2 s osou X. Z předchozích výpočtů bylo zjištěno, že nejmenší odchylky převýšení od teoreticky správných převýšení při měření sklonů jsou u sklonu blízkém nule. Hodnoty sklonu od -1 % do 1 % se lišily průměrně o 2,3 cm na výšce na 1 % změny sklonu v ose Y. Z této hodnoty byl vypočten sklon v procentech:

$$S[\%] = \frac{H}{L} \cdot 100 = \frac{0,023 \text{ m}}{100 \text{ m}} \cdot 100 = 0,023 \%. [10]$$

Ze sklonu bylo pak možné vypočítat úhel, který svíral směr na bod 2 s osou X při nastaveném sklonu 1 % na ose Y. Byla použita funkce sinus.

$$1 \% \sin x = 0,023 \%$$

$$\sin x = 0,023 \text{ m}$$

$$x = \arcsin 0,023 = 1^{\circ}19'$$

Úhel, který svíral směr na bod 2 s osou X byl  $1^{\circ}19'$ . Na 100 m je to vzdálenost 2,3 m. To znamená, že bylo kolimátorem cíleno 2,3 m od bodu 2.



### 3.2 Ruční dálkoměry

Výsledky byly uspořádány do přehledné tabulky, ze které je patrné, že žádný z přístrojů nevykazoval větší chyby. Všechny střední výběrové chyby druhého sloupce jsou menší, než jsou hodnoty předepsaných maximálních odchylek dálkoměrů. Všechny přístroje tedy dosáhly předpokládané přesnosti. U přístroje BOSCH DLE 40 Professional je v manuálu v poznámce pod čarou napsáno, že v příznivých podmínkách je přesnost 0,05 mm/m [6]. Přesto, že bylo měřeno v ideálních podmínkách, této maximální přesnosti nebylo dosaženo. Podobná situace nastala u přístroje značky Leica, kde dle manuálu je přesnost měření  $\pm(1,5 - 3)$  mm, ale při příznivých podmínkách  $\pm 0,1$  mm/m [4].

*Tabulka 6: Výsledky testování ručních dálkoměrů*

Výsledky testování laserových dálkoměrů	Střední výběrová chyba [mm/m]	Střední výběrová chyba [mm]	Předepsaná maximální odchylka [mm]
Leica Disto <sup>TM</sup> plus IC: 3177ACPD0401	0,2	<b>0,5</b>	$\pm 1,5$
STABILA LE 50 s. no.: 2072072120	0,1	<b>0,6</b>	$\pm 3,0$
BOSCH DLE 40 Professional v. č. 407552382	0,3	<b>0,6</b>	$\pm 1,5$
BOSCH DLE 40 Professional v. č. 407555920	0,3	<b>1,2</b>	$\pm 1,5$
BOSCH DLE 40 Professional v. č. 407552372	0,3	<b>1,1</b>	$\pm 1,5$
BOSCH DLE 40 Professional v. č. 407552395	0,3	<b>0,9</b>	$\pm 1,5$

Zvlášť byly také vypočteny střední výběrové chyby všech délek pro každý přístroj. Nebyla zjištěna žádná závislost přesnosti měření na měřené délce.

*Tabulka 7: Střední výběrové chyby měření jednotlivých délek*

Střední výběrové chyby pro každou délku [mm]	1 m	3 m	5 m	7 m	9 m	11 m	13 m	15 m
Leica Disto™ plus IC: 3177ACPD0401	0,5	0,0	0,5	0,5	0,0	0,7	0,5	0,7
STABILA LE 50 s. no.: 2072072120	0,0	0,5	0,5	0,7	0,7	0,5	0,7	0,7
BOSCH DLE 40 Professional v. č. 407552382	0,7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7	0,9
BOSCH DLE 40 Professional v. č. 407555920	0,7	0,7	1,2	1,5	1,6	1,1	1,2	0,9
BOSCH DLE 40 Professional v. č. 407552372	0,7	1,2	1,2	1,3	1,1	1,2	0,5	1,1
BOSCH DLE 40 Professional v. č. 407552395	0,7	0,9	1,1	0,9	1,1	0,5	1,2	0,7

### 3.3 Laserové libely

Podle manuálu k testovanému zařízení má být maximální odchylka ve výšce 0,5 mm/m [8]. Jelikož čtení na lati na „bodě A“ byla vždy totožná, je brána v potaz pouze chyba na vzdálenějším bodě. Ten byl od přístroje vzdálen 36,2 m. Označí-li se vzdálenost  $l = 36,2$  m, maximální dovolená odchylka ve výšce bude:  $\varepsilon_{max} = l \cdot 0,5$  mm/m, což je  $\varepsilon_{max} = 1,8$  cm. Z tabulky je patrné, že všechny skutečné chyby, s výjimkou jedné, překročily dovolenou odchylku, ve dvou případech téměř trojnásobně. Střední výběrové chyby byly vypočteny ze vzorce:

$$m^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i \varepsilon_i}{n}. [9]$$

Tabulka 8: Výpočet chyb laserových libel

Laserliner Handy Laser Compact [cm]	A	B	A-B	(A-B) <sub>0</sub>	$\varepsilon$
v. č. 1425000216	42	44	-2	1	3
	42	41	1	1	0
	42	44	-2	1	3
v. č. 1425002746	41	37	4	1	-3
	41	35	6	1	-5
	41	35	6	1	-5

*A...čtení na lati v bodě A*

*B...čtení na lati v bodě B*

*A-B...Převýšení mezi body A a B změřené laserovou vodováhou*

*(A-B)<sub>0</sub>...převýšení mezi A a B změřené technickou nivelací*

*$\varepsilon$ ...skutečné chyby*

Střední výběrové chyby na vzdálenost 36,2 m jsou tedy:

$$m_1 = \sqrt{\frac{9+9}{3}} = 2,4 \text{ cm}, m_2 = \sqrt{\frac{9+25+25}{3}} = 4,4 \text{ cm}.$$

Zjištěná střední výběrová chyba přístroje Laserliner Handy Laser Compact v. č. 1425000216 byla 2,4 cm na vzdálenost 36,2 m. Střední chyba tohoto přístroje je tedy **0,7 mm/m**.

Zjištěná střední výběrová chyba přístroje Laserliner Handy Laser Compact v. č. 1425002746 byla 4,4 cm na vzdálenost 36,2 m. Střední chyba tohoto přístroje je tedy **1,2 mm/m**.

Obě hodnoty zjištěných středních výběrových chyb překročily stanovenou maximální odchylku.

## 4 PRAKTICKÁ POUŽITELNOST

### 4.1 Rotační lasery

I když testování těchto přístrojů nevyšlo nejhůře, mají jen málo výhod. Jednou je to, že k měření s nimi je zapotřebí pouze jeden měřič. Zacházení s nimi je také velice jednoduché, pro práci s nimi nejsou potřeba žádné hlubší znalosti. Navíc urovnání je zde automatické. Sklon může být nastaven i na přijímači paprsku dálkově. Ale aby bylo možno měřit delší dobu prostřednictvím dálkového ovládání, byla by potřeba velká zásoba baterií. Dálkové ovládání má dosah až 150 m, ale i na vzdálenost 100 m přibližně po hodině používání začalo dělat velké problémy. Navíc aktuální stav baterie detektoru není nikde vyobrazen. Pokud nejde o přesná měření, dají se celkem snadno vytyčit skloněné roviny. Musí být ale počítáno s chybou  $\pm 0,1$  %.

V porovnání s technickou nivelací jde o zdoluhavý postup měření, kdy nejdříve musíme najít rovinu, ve které se nachází paprsek, urovnat detektor do správné výšky, posunout a utáhnout nástavec, dle něhož až můžeme číst hodnotu na lati. Pro technickou nivelaci jsou sice zapotřebí měřiči dva, ale čtení na lati a přesun je mnohem rychlejší. Rotační laser se urovnává sám, ale u nivelačního přístroje lze snadno a rychle zkontrolovat správnost funkce kompenzátoru.

Dalším velkým nedostatkem je lat' přístroje. Za prvé čtení se stupňuje neobvykle shora dolů, při čtení hodnoty na lati nevidíme předchozí centimetrovou hodnotu, a tak lze udělat velmi snadno chybu. Dále při hledání správné polohy detektoru je velice obtížné zároveň sledovat libelu. Navíc při utahování šroubu se vždy detektor o malou hodnotu posune. Největším mínusem je ale fakt, že detektor lze posouvat pouze po jedné části lati, je tedy zapotřebí předem vědět v jakém rozmezí budeme číst hodnoty na lati. Navíc lat' je možné vysouvat zdola, nelze ji protahovat nahoru jako u běžné teleskopické lati pro technickou nivelaci. A tak případná změna výšky latě by znamenala nutnost přepočítat část měření.

## **4.2 Ruční dálkoměry**

Ruční dálkoměry jsou používány pro měření krátkých vzdáleností v interiéru, pro které jsou naprosto dostačující. V exteriéru se bohužel neosvědčily kvůli slunečnímu záření, které snižuje viditelnost paprsku, a na větší vzdálenost nemáme jistotu, od čeho se paprsek odráží.

## **4.3 Laserové libely**

Testované laserové libely jsou zařízení, která lze použít pouze pro přibližné ukázání vodorovné polohy a to jen pro krátké vzdálenosti.

## ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo ověřit, zda vybrané stavební přístroje měří s chybou menší nebo rovnou hodnotě předepsané výrobcem v manuálu přiloženém k přístroji. S přístroji byla nejdříve potřeba se seznámit, vyzkoušet si jak se s nimi zachází a poté testovat jejich funkce na základě získaného souboru měření. Testovány byly rotační lasery, ruční dálkoměry a laserové libely. U ručních dálkoměrů byla testována pouze přesnost měření délek a u laserových libel pouze přesnost vodorovného urovnání laseru. Více byly rozebrány funkce rotačních laserů. Zde byl kladen důraz jak na nivelační schopnost přístroje, tak na funkci vytyčení skloněné roviny.

Měření s ručními dálkoměry a s laserovými libelami byla provedena pro redukci chyb způsobených vnějšími podmínkami v interiéru FAST VUT v Brně a měření s rotačními lasery v areálu této školy. Zápisníky naměřených hodnot byly vloženy do příloh.

Bylo zjištěno, že přesnost vytyčení vodorovné roviny a přesnost urovnání sklonu určují hodnoty stejného řádu. Chyba nastavení sklonu v porovnání se správnými hodnotami je ale několika násobně větší. Tyto chyby však byly stále menší než předepsané maximální odchylky. Na rozdíl od středních chyb vytyčení vodorovné roviny, zde uspěl pouze jeden přístroj ze tří. Co se týká ručních dálkoměrů, tak všechny splnily požadavek na maximální odchylku. U některých však byla poznačena přesnost při příznivých podmínkách, což se v učebně zajistilo, ale naměřené chyby byly větší než tato přesnost. U laserových libel byly zjištěny velké nedostatky, všechny testované přístroje překročily maximální chybu.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] VYUŽITÍ LASEROVÉ TECHNIKY VE STAVEBNICTVÍ. *Geopen.cz* [online].  
Dostupné z: <http://www.geopen.cz/files/stavebni-lasery-ve-stavebnictvi.pdf>
- [2] NEDO GMBH & CO. KG. *PRIMUS 2 H2N/H2N+*. Germany. 2010. 45 s.
- [3] LASEROVÉ DÁLKOMĚRY. *Merim.cz* [online]. Dostupné z:  
<https://www.merim.cz/mereni-vysek/lasero-ve-dalkomery>
- [4] LEICA GEOSYSTEMS AG. *Leica DISTO<sup>TM</sup> plus*. Switzerland. 2003. 14 s.  
Dostupné z: <http://lib.store.yahoo.net/lib/distoshop/distoplusmanual.pdf>
- [5] STABILA. *Stabila LE-50*. Dostupné z: <http://www.stabila.cz/img.asp?attid=78117>
- [6] ROBERT BOSCH GMBH. *DLE 50 Professional*. Dostupné z: [http://naradi-skaloud.cz/editor/image/download2\\_soubory/lasero-ve-meric-vzdalenosti-dle-50.pdf](http://naradi-skaloud.cz/editor/image/download2_soubory/lasero-ve-meric-vzdalenosti-dle-50.pdf)
- [7] CO MOŽNÁ NEVÍTE O LASERECH. *Meridla.naturahradec.cz* [online].  
Dostupné z: <http://meridla.naturahradec.cz/jak-je-to-s-lasery-559/>
- [8] LASEROVÁ VODOVÁHA HANDY LASER COMPACT.  
*produktinfo.conrad.com* [online]. Dostupné z:  
[http://www.produktinfo.conrad.com/datenblaetter/800000-824999/813537-an-01-cs-Lasero-va\\_vodovaha.pdf](http://www.produktinfo.conrad.com/datenblaetter/800000-824999/813537-an-01-cs-Lasero-va_vodovaha.pdf)
- [9] ŠVEC, M., HÁNEK, P. *Stavební geodézie 10*. Praha: ČVUT, 1994. 175 s.  
ISBN 80-01-01064-3
- [10] JAK SPOČÍTAT SKLON KOPCE. *Naradi-dewalt.cz* [online]. Dostupné z:  
<http://www.naradi-dewalt.cz/files/jak-spocitat-sklon-kopce.pdf>
- [11] ŠVÁBENSKÝ, O., VITULA, A., BUREŠ, J. *Inženýrská geodézie I*. Brno: VUT, 2006. 102 s.
- [12] SYLABUS Z PŘEDNÁŠKY 5 Z GEODÉZIE 1. *K154.fsv.cvut.cz* [online].  
Dostupné z:  
[http://k154.fsv.cvut.cz/vyuka/geodezie\\_geoinformatika/gdz1/prednaska\\_5.pdf](http://k154.fsv.cvut.cz/vyuka/geodezie_geoinformatika/gdz1/prednaska_5.pdf)



## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Přehled možností volby počátku měření přístrojem Leica DistoTM plus .....	13
Obrázek 2: Přehled použitých nivelačních bodů v areálu.....	17
Obrázek 3: Lat' s detektorem .....	18
Obrázek 4: Označení směru os na přístroji .....	19
Obrázek 5: Kolimátor rotačního laseru .....	20
Obrázek 6: Měření od pevného počátku .....	24
Obrázek 7: Cílová značka .....	25
Obrázek 8: Testovaná laserová vodováha .....	28

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Korekce pro všechny měřené délky.....	26
Tabulka 2: Výsledky testování nivelace rotačních laserů.....	30
Tabulka 3: Nový výpočet střední chyby nivelace přístroje 3C.....	30
Tabulka 4: Tabulka středních chyb urovnání sklonu.....	31
Tabulka 5: Tabulka středních chyb nastavení sklonu .....	31
Tabulka 6: Výsledky testování ručních dálkoměrů .....	33
Tabulka 7: Střední výběrové chyby měření jednotlivých délek .....	34
Tabulka 8: Výpočet chyb laserových libel .....	35

## **SEZNAM PŘÍLOH:**

Příloha č. 1: Zápisníky měření nivelace rotačními lasery

Příloha č. 2: Zápisníky měření sklonů rotačními lasery

Příloha č. 3: Zápisník měření přesnosti kolimátoru rotačního laseru

Příloha č. 4: Zápisník měření ručními dálkoměry

Příloha č. 5: Zápisník měření laserovými libelami

Příloha č. 6: Výpočty středních chyb měření nivelace rotačními lasery

Příloha č. 7: Výpočty středních chyb urovnání sklonu rotačních laserů

Příloha č. 8: Výpočty středních chyb urovnání sklonu rotačních laserů

Příloha č. 9: Výpočty skutečných chyb ručních dálkoměrů

Příloha č. 10: Výpočty skutečných chyb laserových libel

Příloha č. 11: Grafy porovnání průměrných a správných hodnot čtení na lati

I. Příloha č. 1: Zápisníky měření nivelace rotačními lasery

Přístroj Nedo PRIMUS <sup>2</sup> H2N	Bod	Čtení na lati [cm]
<b>4B</b>	7	38,2
	8	35,5
	6	32,9
	5	36,4
	2	38,3
<b>5A</b>	7	38,3
	8	35,4
	6	33,0
	5	36,6
	2	39,0
<b>3C</b>	7	28,1
	8	25,9
	6	23,7
	5	27,6
	2	30,3

II. Příloha č. 2: Zápisníky měření sklonů rotačními lasery

Nedo PRIMUS <sup>2</sup> H2N						
5A						
[cm]						
X -> 2 Y = 0 %	X [%]	1	2	3	4	5
	-0,3	56,9	57,3	57,1	57,9	57,5
	-0,2	50,0	49,5	49,3	50,7	49,8
	-0,1	39,1	39,5	40,2	38,9	39,3
	0,0	24,8	24,1	23,9	23,0	24,4
	0,1	12,5	12,0	10,9	10,3	11,6
	0,2	2,9	3,7	4,2	4,8	3,5
	0,3	-9,2	-12,7	-8,0	-10,8	-11,1
Y -> 2 X = 0 %	Y [%]	1	2	3	4	5
	-0,3	55,8	56,6	57,8	57,6	56,7
	-0,2	47,7	46,5	47,2	46,1	47,5
	-0,1	39,7	39,6	38,8	39,6	38,6
	0,0	23,1	23,2	23,2	23,1	23,1
	0,1	5,6	3,7	3,8	3,5	5,1
	0,2	-3,7	-3,1	-2,9	-3,5	-4,1
	0,3	-12,4	-13,5	-13,3	-13,1	-12,7
Nedo PRIMUS <sup>2</sup> H2N						
4B						
[cm]						
X -> 2 Y = 0 %	X [%]	1	2	3	4	5
	-0,3	50,7	53,1	52,5	52,8	51,8
	-0,2	42,3	39,7	41,5	41,7	42,0
	-0,1	31,9	31,7	31,9	31,8	32,0
	0,0	17,5	17,3	17,6	17,4	17,7
	0,1	-2,5	-0,4	-1,8	-2,4	-1,6
	0,2	-12,4	-12,2	-12,2	-12,7	-12,5
	0,3	-22,1	-20,4	-21,1	-20,8	-20,9
Y -> 2 X = 0 %	Y [%]	1	2	3	4	5
	-0,3	51,6	53,2	53,3	52,4	52,2
	-0,2	39,1	42,2	43,0	42,8	42,4
	-0,1	33,6	32,6	33,8	31,9	32,4
	0,0	16,1	16,0	16,0	15,9	15,8
	0,1	5,4	3,7	3,0	3,7	4,8
	0,2	-5,9	-8,6	-8,1	-4,7	-7,2
	0,3	-17,1	-18,8	-18,6	-16,9	-19,9

<b>Nedo PRIMUS<sup>2</sup> H2N</b> <b>3C</b> <b>[cm]</b>						
X -> 2 Y = 0 %	X [%]	1	2	3	4	5
	-0,3	59,4	58,6	59,3	59,1	59,0
	-0,2	50,2	49,8	50,0	49,9	49,5
	-0,1	41,9	41,0	41,4	41,6	41,8
	0,0	26,4	26,4	27,1	27,1	27,3
	0,1	10,6	8,4	8,7	9,2	9,9
	0,2	-0,9	0,1	-1,2	-0,9	-1,3
	0,3	-10,0	-9,8	-10,4	-9,2	-10,5
Y -> 2 X = 0 %	Y [%]	1	2	3	4	5
	-0,3	61,6	61,1	62,4	61,8	62,3
	-0,2	55,9	54,1	54,9	52,2	53,5
	-0,1	40,1	39,4	39,6	40,3	41,4
	0,0	23,0	23,1	22,7	23,0	22,9
	0,1	8,9	7,6	7,8	6,8	9,2
	0,2	-2,9	-5,2	-3,5	-2,3	-2,4
	0,3	-15,0	-14,8	-15,0	-14,9	-14,6

III. Příloha č. 3: Zápisník měření přesnosti kolimátoru rotačního laseru

<b>Nedo PRIMUS<sup>2</sup> H2N 4B</b> <b>X -&gt; 2</b>			
Y [%]	Čtení na lati [cm]	Y [%]	Čtení na lati [cm]
10	2,2	-1	19,6
9	2,5	-2	21,5
8	3,6	-3	22,9
7	5,1	-4	24,7
6	6,8	-5	26,2
5	8,1	-6	27,5
4	9,5	-7	28,9
3	11,7	-8	30,3
2	13,2	-9	31,4
1	15,0	-10	32,1
0	17,4		

IV. Příloha č. 4: Zápisník měření ručními dálkoměry

<b>Měření délek ručními dálkoměry [m]</b>	<b>1 m</b>	<b>3 m</b>	<b>5 m</b>	<b>7 m</b>	<b>9 m</b>	<b>11 m</b>	<b>13 m</b>	<b>15 m</b>
Leica Disto™ plus IC: 3177ACPD0401	1,000	3,000	5,000	7,000	9,000	10,999	13,000	14,999
	1,001	3,000	5,000	6,999	9,000	11,000	12,999	15,000
	1,000	3,000	5,000	7,000	9,000	10,999	13,000	15,000
	1,000	3,000	5,001	7,000	9,000	11,000	13,000	14,999
STABILA LE 50 s. no.: 2072072120	1,000	3,000	5,000	7,001	8,999	11,000	13,000	15,000
	1,000	3,001	5,000	7,000	9,000	11,000	13,001	15,001
	1,000	3,000	4,999	7,000	9,001	11,001	13,000	15,001
	1,000	3,000	5,000	7,001	9,000	11,000	13,001	15,000
BOSCH DLE 40 Professional v. č. 407552382	1,001	3,001	5,000	7,000	9,000	11,000	12,999	15,001
	1,001	3,000	5,000	7,001	9,000	11,000	13,000	14,999
	1,000	3,000	5,001	7,000	9,000	10,999	12,999	14,999
	1,000	3,000	5,000	7,000	8,999	11,000	13,000	15,000
BOSCH DLE 40 Professional v. č. 407555920	1,000	3,001	5,002	7,002	9,001	11,002	13,000	15,000
	1,001	3,001	5,001	7,001	9,002	10,999	13,001	14,999
	1,000	3,000	5,000	7,002	9,002	11,000	13,002	14,999
	1,001	3,000	5,001	7,000	8,999	11,000	12,999	14,999
BOSCH DLE 40 Professional v. č. 407552372	1,000	3,002	5,000	7,001	9,002	11,001	12,999	14,998
	1,001	3,001	5,001	7,001	9,000	11,000	13,000	15,000
	1,000	3,000	5,002	7,002	9,000	11,002	13,000	15,000
	1,001	3,001	5,001	7,001	9,001	10,999	13,000	15,001
BOSCH DLE 40 Professional v. č. 407552395	1,001	3,001	5,001	6,999	9,002	11,000	13,002	14,999
	1,000	3,001	5,000	7,001	9,000	11,000	13,001	14,999
	1,000	3,001	5,002	7,001	9,001	11,001	12,999	15,000
	1,001	3,000	5,000	7,000	9,000	11,000	13,000	15,000

V. Příloha č. 5: Zápisník měření laserovými libelami

<b>v. č.</b> <b>1425000216</b>	1. uovnění	2. uovnění	3. uovnění
A	42 cm	42 cm	42 cm
B	44 cm	41 cm	44 cm

<b>v. č.</b> <b>1425002746</b>	1. uovnění	2. uovnění	3. uovnění
A	41 cm	41 cm	41 cm
B	37 cm	35 cm	35 cm



VI. Příloha č. 6: Výpočty středních chyb měření nivelace rotačními lasery

	Bod	Čtení na lati [cm]	$h_i$ [m]	$p_i$ [m]		$v$ [m]	$v$ [mm/m]	
<b>4B</b>	7	38,2	250,656	0,480	$h_0 = 250,656 \text{ m}$	0,00049	0,06	$m = 0,045 \text{ mm/m}$
	8	35,5	250,656	0,289		0,00040	0,03	
	6	32,9	250,657	0,133		-0,00100	-0,04	
	5	36,4	250,657	0,059		-0,00089	-0,01	
	2	38,3	250,661	0,038		-0,00420	-0,04	
<b>5A</b>	7	38,3	250,655	0,480	$h_0 = 250,656 \text{ m}$	0,00078	0,10	$m = 0,072 \text{ mm/m}$
	8	35,4	250,657	0,289		-0,00131	-0,10	
	6	33,0	250,656	0,133		-0,00071	-0,03	
	5	36,6	250,655	0,059		0,00040	0,01	
	2	39,0	250,654	0,038		0,00209	0,02	
<b>3C</b>	7	28,1	250,757	0,480	$h_0 = 250,753 \text{ m}$	-0,00373	-0,47	$m = 0,265 \text{ mm/m}$
	8	25,9	250,752	0,289		0,00118	0,09	
	6	23,7	250,749	0,133		0,00378	0,13	
	5	27,6	250,745	0,059		0,00789	0,12	
	2	30,3	250,741	0,038		0,01258	0,13	

- Zápiskník měření najdeme v příloze č. 1.

- Postup výpočtů je vysvětlen v kapitole 2.1.3.

VII. Příloha č. 7: Výpočty středních chyb urovnání sklonu rotačních laserů

Nedo PRIMUS <sup>2</sup> H2N 5A				
Výpočet chyby urovnání sklonu				
[cm]				
X -> 2 Y = 0 %	sklon [%]	průměrné naměřené hodnoty	střední chyba urovnání sklonu	
	-0,3	57,3	0,385	Celková střední chyba 0,819 cm
	-0,2	49,9	0,541	
	-0,1	39,4	0,500	
	0,0	24,0	0,673	
	0,1	11,5	0,873	
	0,2	3,8	0,719	
	0,3	-10,4	1,812	
Y -> 2 X = 0 %	-0,3	56,9	0,812	Celková střední chyba 0,565 cm
	-0,2	47,0	0,678	
	-0,1	39,3	0,518	
	0,0	23,1	0,055	
	0,1	4,3	0,945	
	0,2	-3,5	0,477	
	0,3	-13,0	0,447	
Nedo PRIMUS <sup>2</sup> H2N 4B				
Výpočet chyby urovnání sklonu				
[cm]				
X -> 2 Y = 0 %	sklon [%]	průměrné naměřené hodnoty	střední chyba urovnání sklonu	
	-0,3	52,2	0,958	Celková střední chyba 0,609 cm
	-0,2	41,4	1,019	
	-0,1	31,9	0,114	
	0,0	17,5	0,158	
	0,1	-1,7	0,841	
	0,2	-12,4	0,212	
	0,3	-21,1	0,635	
Y -> 2 X = 0 %	-0,3	52,5	0,713	Celková střední chyba 1,017 cm
	-0,2	41,9	1,597	
	-0,1	32,9	0,811	
	0,0	16,0	0,114	
	0,1	4,1	0,963	
	0,2	-6,9	1,602	
	0,3	-18,3	1,254	

Nedo PRIMUS <sup>2</sup> H2N 3C			
Výpočet chyby urovnání sklonu [cm]			
X -> 2 Y = 0 %	sklon [%]	průměrné naměřené hodnoty	střední chyba urovnání sklonu
	-0,3	59,1	0,311
	-0,2	49,9	0,259
	-0,1	41,5	0,358
	0,0	26,9	0,428
	0,1	9,4	0,896
	0,2	-0,8	0,555
	0,3	-10,0	0,522
Y -> 2 X = 0 %	-0,3	61,8	0,532
	-0,2	54,1	1,401
	-0,1	40,2	0,783
	0,0	22,9	0,152
	0,1	8,1	0,984
	0,2	-3,3	1,184
	0,3	-14,9	0,167

- Střední chyby urovnání sklonu pro každý sklon zvlášť byly počítány z pěti oprav.
- Celková střední chyba urovnání sklonu byla vypočtena ze všech oprav určitého sklonu, tj. z 35 hodnot oprav.
- *Zápisník měření najdeme v příloze č. 2.*
- *Postup výpočtů je vysvětlen v kapitole 2.1.3.*

VIII. Příloha č. 8: Výpočty středních chyb nastavení sklonu rotačních laserů

Nedo PRIMUS2 H2N 3C Výpočet chyby nastavení sklonu [cm]				
X -> 2 Y = 0 %	X [%]	průměrné naměřené hodnoty	vypočtené správné hodnoty	rozdíl y
	-0,3	59,1	56,9	-2,2
	-0,2	49,9	46,9	-3,0
	-0,1	41,5	36,9	-4,6
	0,0	26,9	26,9	0,0
	0,1	9,4	16,9	7,5
	0,2	-0,8	6,9	7,7
	0,3	-10,0	-3,1	6,9
Y -> 2 X = 0 %	-0,3	61,8	52,9	-8,9
	-0,2	54,1	42,9	-11,2
	-0,1	40,2	32,9	-7,3
	0,0	22,9	22,9	0,0
	0,1	8,1	12,9	4,8
	0,2	-3,3	2,9	6,2
	0,3	-14,9	-7,1	7,8

Střední výběrová chyba 5,33 cm

Střední výběrová chyba 7,37 cm

Nedo PRIMUS2 H2N 4B Výpočet chyby nastavení sklonu [cm]				
X -> 2 Y = 0 %	X [%]	průměrné naměřené hodnoty	vypočtené správné hodnoty	rozdíly
	-0,3	52,2	47,5	-4,7
	-0,2	41,4	37,5	-3,9
	-0,1	31,9	27,5	-4,4
	0,0	17,5	17,5	0,0
	0,1	-1,7	7,5	9,2
	0,2	-12,4	-2,5	9,9
	0,3	-21,1	-12,5	8,6
Y -> 2 X = 0 %	-0,3	52,5	46	-6,5
	-0,2	41,9	36	-5,9
	-0,1	32,9	26	-6,9
	0,0	16,0	16	0,0
	0,1	4,1	6	1,9
	0,2	-6,9	-4	2,9
	0,3	-18,3	-14	4,3

Střední výběrová chyba 6,69 cm

Střední výběrová chyba 4,70 cm

<b>Nedo PRIMUS2 H2N 5A</b> <b>Výpočet chyby nastavení sklonu</b> <b>[cm]</b>				
X -> 2 Y = 0 %	X [%]	průměrné naměřené hodnoty	vypočtené správné hodnoty	rozdíly
	-0,3	57,3	54	-3,3
	-0,2	49,9	44	-5,9
	-0,1	39,4	34	-5,4
	0,0	24,0	24	0,0
	0,1	11,5	14	2,5
	0,2	3,8	4	0,2
	0,3	-10,4	-4	6,4
Y -> 2 X = 0 %	-0,3	56,9	53,1	-3,8
	-0,2	47,0	43,1	-3,9
	-0,1	39,3	33,1	-6,2
	0,0	23,1	23,1	0,0
	0,1	4,3	13,1	8,8
	0,2	-3,5	3,1	6,6
	0,3	-13,0	-6,9	6,1

Střední výběrová chyba 4,17 cm

Střední výběrová chyba 5,66 cm

- Zápiskník měření najdeme v příloze č. 2.
- Postup výpočtů je vysvětlen v kapitole 2.1.3.

IX. Příloha č. 9: Výpočty skutečných chyb ručních dálkoměrů

Relativní odchylky od skutečné délky [m]	1 m	3 m	5 m	7 m	9 m	11 m	13 m	15 m
Leica Disto™ plus IC: 3177ACPD0401	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001
	-0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
	0,000	0,000	-0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
STABILA LE 50 s. no.: 2072072120	0,000	0,000	0,000	-0,001	0,001	0,000	0,000	0,000
	0,000	-0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,001	-0,001
	0,000	0,000	0,001	0,000	-0,001	-0,001	0,000	-0,001
	0,000	0,000	0,000	-0,001	0,000	0,000	-0,001	0,000
BOSCH DLE 40 Professional v. č. 407552382	-0,001	-0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	-0,001
	-0,001	0,000	0,000	-0,001	0,000	0,000	0,000	0,001
	0,000	0,000	-0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
BOSCH DLE 40 Professional v. č. 407555920	0,000	-0,001	-0,002	-0,002	-0,001	-0,002	0,000	0,000
	-0,001	-0,001	-0,001	-0,001	-0,002	0,001	-0,001	0,001
	0,000	0,000	0,000	-0,002	-0,002	0,000	-0,002	0,001
	-0,001	0,000	-0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001
BOSCH DLE 40 Professional v. č. 407552372	0,000	-0,002	0,000	-0,001	-0,002	-0,001	0,001	0,002
	-0,001	-0,001	-0,001	-0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,000	0,000	-0,002	-0,002	0,000	-0,002	0,000	0,000
	-0,001	-0,001	-0,001	-0,001	-0,001	0,001	0,000	-0,001
BOSCH DLE 40 Professional v. č. 407552395	-0,001	-0,001	-0,001	0,001	-0,002	0,000	-0,002	0,001
	0,000	-0,001	0,000	-0,001	0,000	0,000	-0,001	0,001
	0,000	-0,001	-0,002	-0,001	-0,001	-0,001	0,001	0,000
	-0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Relativní odchylky od skutečné délky na 1 m [mm/m]	1 m	3 m	5 m	7 m	9 m	11 m	13 m	15 m
Leica Disto™ plus IC: 3177ACPD0401	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,091	0,000	0,067
	-1,000	0,000	0,000	0,143	0,000	0,000	0,077	0,000
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,091	0,000	0,000
	0,000	0,000	-0,200	0,000	0,000	0,000	0,000	0,067

STABILA LE 50 s. no.: 2072072120	0,000	0,000	0,000	-0,143	0,111	0,000	0,000	0,000
	0,000	-0,333	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,077	-0,067
	0,000	0,000	0,200	0,000	-0,111	-0,091	0,000	-0,067
	0,000	0,000	0,000	-0,143	0,000	0,000	-0,077	0,000
BOSCH DLE 40 Professional v. č. 407552382	-1,000	-0,333	0,000	0,000	0,000	0,000	0,077	-0,067
	-1,000	0,000	0,000	-0,143	0,000	0,000	0,000	0,067
	0,000	0,000	-0,200	0,000	0,000	0,091	0,077	0,067
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,111	0,000	0,000	0,000
BOSCH DLE 40 Professional v. č. 407555920	0,000	-0,333	-0,400	-0,286	-0,111	-0,182	0,000	0,000
	-1,000	-0,333	-0,200	-0,143	-0,222	0,091	-0,077	0,067
	0,000	0,000	0,000	-0,286	-0,222	0,000	-0,154	0,067
	-1,000	0,000	-0,200	0,000	0,111	0,000	0,077	0,067
BOSCH DLE 40 Professional v. č. 407552372	0,000	-0,667	0,000	-0,143	-0,222	-0,091	0,077	0,133
	-1,000	-0,333	-0,200	-0,143	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,000	0,000	-0,400	-0,286	0,000	-0,182	0,000	0,000
	-1,000	-0,333	-0,200	-0,143	-0,111	0,091	0,000	-0,067
BOSCH DLE 40 Professional v. č. 407552395	-1,000	-0,333	-0,200	0,143	-0,222	0,000	-0,154	0,067
	0,000	-0,333	0,000	-0,143	0,000	0,000	-0,077	0,067
	0,000	-0,333	-0,400	-0,143	-0,111	-0,091	0,077	0,000
	-1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

- Hodnoty skutečných chyb jsou přepočteny na jednotky [mm/m]. Odchylky naměřených hodnot od skutečných hodnot byly tedy poděleny délkou.

- *Zápisník naměřených hodnot lze nalézt v příloze č. 4.*

- *Postup výpočtů je popsán v kapitole 2.2.3.*

- *Výsledné střední výběrové chyby najdeme v kapitole 3.2.*

X. Příloha č. 10: Výpočty skutečných chyb laserových libel

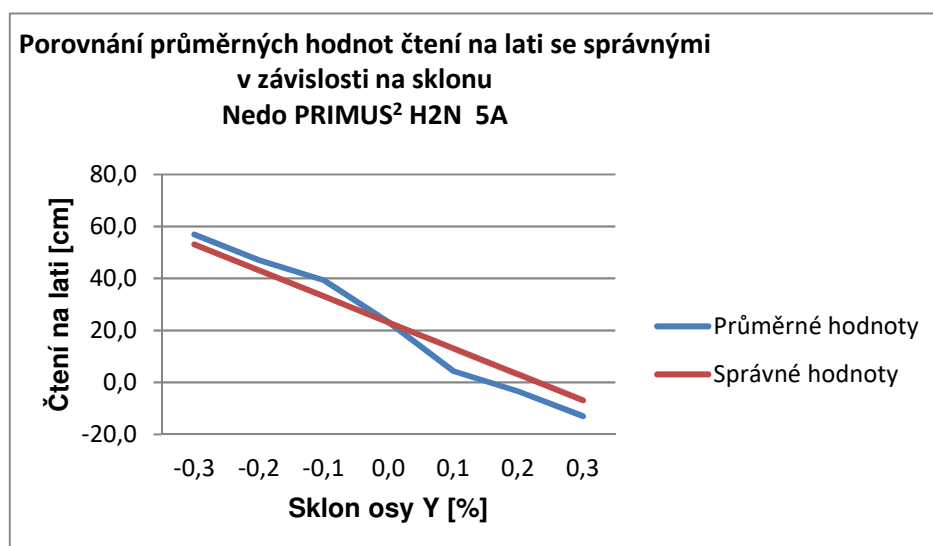
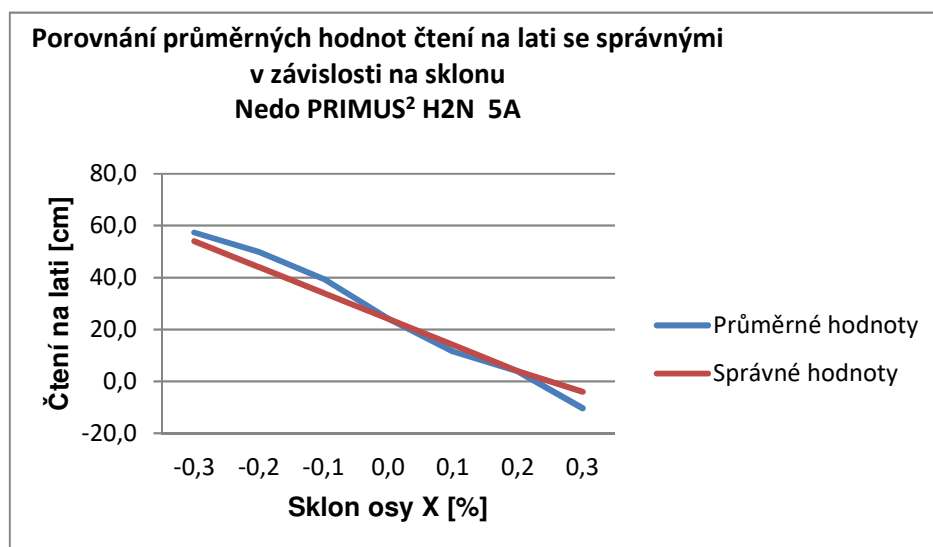
Laserliner Handy Laser Compact [cm]	A	B	A-B	$(A-B)_0$	$\epsilon$
v. č. 1425000216	42	44	-2	1	3
	42	41	1	1	0
	42	44	-2	1	3
v. č. 1425002746	41	37	4	1	-3
	41	35	6	1	-5
	41	35	6	1	-5

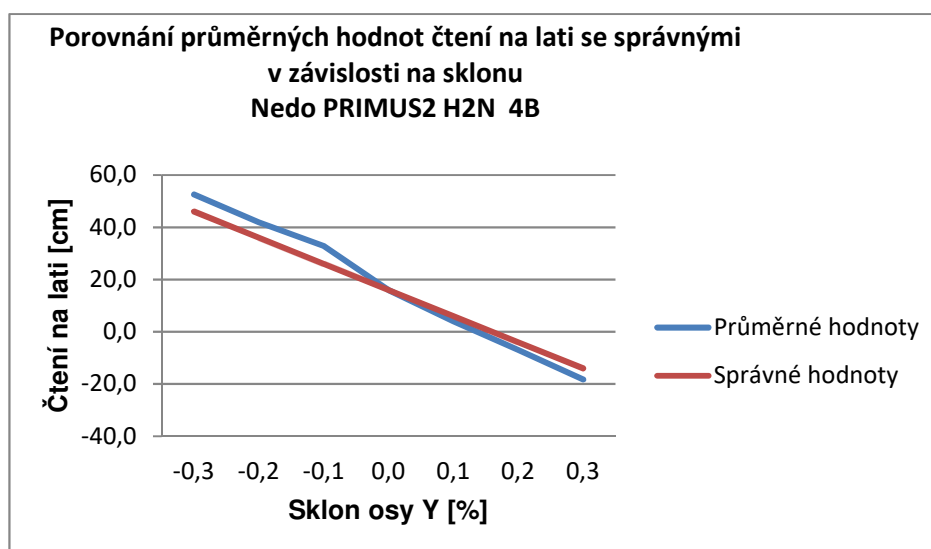
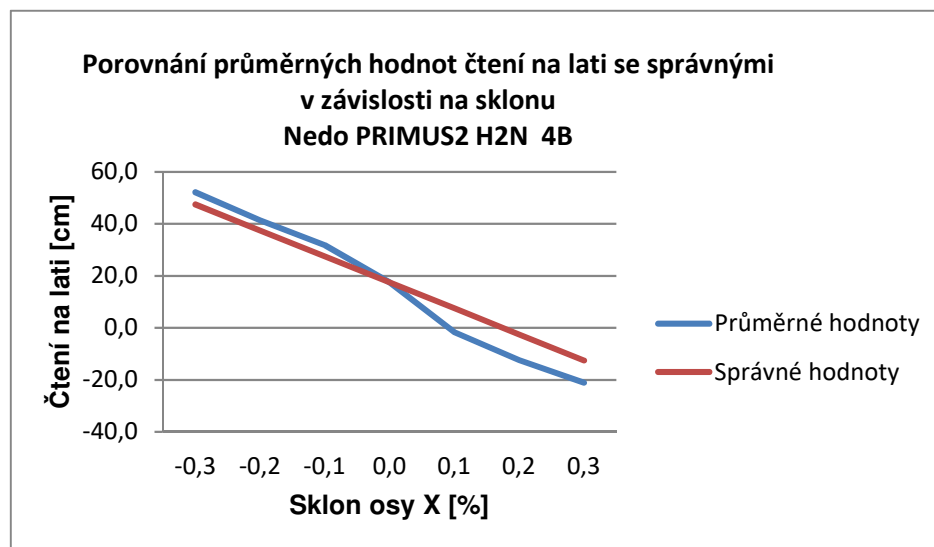
- Zápisník měření se nachází v příloze č. 5.

- Postup výpočtů a vzorečky nalezneme v kapitole 3.3.

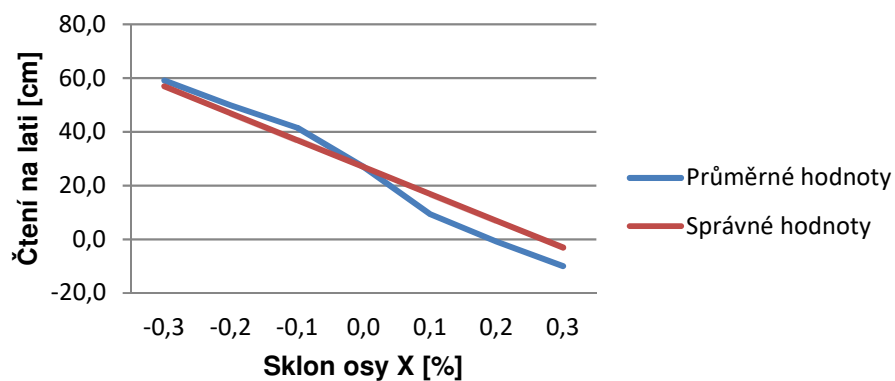


XI. Příloha č. 11: Grafy porovnání průměrných a správných hodnot čtení na lati





**Porovnání průměrných hodnot čtení na lati se správnými  
v závislosti na sklonu  
Nedo PRIMUS2 H2N 3C**



**Porovnání průměrných hodnot čtení na lati se správnými  
v závislosti na sklonu  
Nedo PRIMUS2 H2N 3C**

